

КОРОТКОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТАХ ЕНЕРГОРИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДА «ГУСЕНИЦА»-SSA

РОЗЕН В.П.

д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизації управління електротехнічними комплексами Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Київ, України e-mail: demchyk14@dmil.com;

ДЕМЧИК Я.М.

асистент, кафедри автоматизації управління електротехнічними комплексами Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Київ, України e-mail: demchyk14@dmil.com.

Мета роботи. Основною метою проведеного дослідження є підвищення ефективності режиму роботи енергосистеми за рахунок прогнозування споживання електричної енергії споживачами шляхом використання методу «Гусениця»-SSA для зниження похибки прогнозування електричної енергії на об'єктах енергоринку.

Методи дослідження. Досліджується використання методу "Гусениця"-SSA прогнозування споживання електричної енергії промислового об'єкта енергоринку.

Отримані результати. В даній статті досліджується використання методу "Гусениця"-SSA прогнозування споживання електричної енергії промислового об'єкта енергоринку. Основою проведеного дослідження є підвищення ефективності режиму роботи енергосистеми за рахунок прогнозування споживання електричної енергії споживачами, постачальниками та виробниками. Використання сучасних способів збору статистичної інформації дозволяє приймати правильні рішення в плануванні та управлінні енергооб'єктами. В статті представлено метод сингулярного спектрального аналізу, який дозволяє використання статистичних даних нестационарного ряду. Використання методу сингулярного спектрального аналізу-SSA дозволяє отримати похибку прогнозування електричної енергії на об'єктах енергоринку в межах допустимого. Отримане прогнозне електричне споживання за деякий період дозволить управляти електроенергетичною системою за допомогою пристроїв збору даних. Пристрої збору даних в автоматичному режимі будуть передавати статистичну інформацію, а програмне забезпечення корегувати прогнозні значення електричної енергії замовленні споживачем, постачальником. Дане дослідження дозволяє використовувати метод сингулярного спектрального аналізу в простому прогнозуванні на тиждень, добу, годину наперед при використанні статистичних інструментів. Результати можуть використовуватися в електроенергетиці при попередньому прогнозуванні споживання електроенергії та плануванні об'ємів виробництва електричної енергії та ціни на неї. Запропонований метод показує як правильно використовувати сингулярний спектральний в прогнозуванні електричної енергії.

Наукова новизна. Дослідження в області прогнозування електроспоживання дозволить знизити похибку прогнозування не застосовуючи методів аналізу на стаціонарність часових рядів електроспоживання.

Практична цінність. Дозволить замовляти електричну енергію в постачальників з меншою похибкою це збільшить економію коштів споживачів.

Ключові слова. електроспоживання; промисловий об'єкт енергоринку; «Гусениця»-SSA; прогнозування; сингулярний аналіз.

I. ВСТУП

У сучасних умовах одним з важливих завдань є формування відносин між суб'єктами енергоринку, зокрема між споживачем та енергопостачальною компанією. Прогнозування електроспоживання підприємств є одним моментів планування діяльності всього підприємства, а також промисловості в цілому. Для виробника електричної енергії прогноз потрібний для оптимізації поставки і резервування електроенергії, проведення профілактичних робіт і забезпечення безпеки функціонування електроенергетичної системи (ЕЕС). Споживачу прогноз необхідний для мінімізації похибок, пов'язаних з платою штрафів при перевищенні лімітів по потужності і з передплатою за заяв-

лену, але не використану потужність, а також з простоєм технологічного обладнання в випадку дефіциту потужності в ЕЕС

Прогнозування режимних параметрів і техніко-економічних показників є одним із важливих завдань, як при прогнозуванні, так і при веденні діючих режимів енергообладнання підприємства. Складаючи плани за різними показникам на наступну добу, тиждень, місяць, квартал, рік, служба головного енергетика підприємства повинна вирішувати задачу прогнозування енергобалансу - співвідношення між потребою в електроенергії (потужності) і засобами її задоволення. Одним з показників при прогнозуванні є рівень очікуваного електроспоживання в цілому по підпри-

емству. У цьому сенсі величина прогнозу електроспоживання є опорним показником для прогнозування балансів електроенергії та потужності. Необхідність точного прогнозування споживання електроенергії обумовлена технологічними і економічними причинами підприємства.

Точність прогнозних розрахунків визначається відповідністю застосовуваних математичних моделей процесу коливань споживання електроенергії. В цілому дані коливання являють собою складний нестационарний випадковий процес, який має певні циклічності (регулярні коливання). При застосуванні математичних моделей і програмних засобах фахівці служби головного енергетика підприємства зазвичай обмежуються усередненими за минулі періоди значеннями. Таку методику розрахунків очікуваних планових величин називають зазвичай «ручним прогнозом». Спрощене, «ручне» прогнозування споживання може давати досить високі значення математичного очікування помилок, широкий довірчий інтервал і практично не застосовується для швидких оперативних розрахунків в темпі процесу.

Необхідність прогнозування електроспоживання обумовлена технологічними, економічними причинами та механізмом функціонування оптового ринку електроенергії. В Україні промислові об'єкти повинні дотримуватися граничних величин споживання електричної енергії та електричної потужності. Розрахунок граничних величин необхідно проводити на основі відомих методів прогнозування споживання енергії та потужності. Прогнозування дозволяє забезпечити адекватний, з економічної точки зору, розподіл навантажень між промисловими об'єктами та сприятиме здійсненню економічно доцільних операцій з купівлі та продажу електроенергії. На основі прогнозів споживання здійснюється підготовка балансів потужностей і електроенергії, які відзначають рівень власного споживання і можливості її покриття [1]. Суб'єкт оптового ринку бере на себе деякий ризик, який зв'язаний з неможливістю планування заявки на споживання електроенергії. Відхилення фактичного споживання від заявлених значень більше відповідного відсотка приводить до купівлі електроенергії з балансууючого ринку за більшою ціною. Споживач сплачує постачальнику вартість недоврахованої електроенергії, розраховану виходячи із приєднаної потужності струмоприймачів та кількості годин їх використання відповідно до методики визначення обсягу та вартості електричної енергії, не облікованої внаслідок порушення споживачами правил користування електричною енергією, затвердженою постановою НКРЕ від 04.05.2006 №562 за тарифами, що діяли протягом споживання енергії з порушенням [4]. Таким чином, висока точність прогнозу дозволяє знизити фінансові втрати суб'єкта оптового ринку [2].

Під час вирішення задачі прогнозування споживання електроенергії постає питання вибору математичної моделі прогнозування. Адекватність цієї

моделі впливає на точність визначення планового електроспоживання під час формування цінової заявки куплі-продажу електроенергії на оптовому ринку [2].

Похибка прогнозних оцінок визначає адекватність використовуваних математичних моделей процесу коливання споживання електроенергії. В цілому процес споживання електроенергії являє собою нестационарний випадковий процес, має визначення циклічності [4], [6].

II. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Оцінка енерговитрат під час заявки електроенергії повинна визначатись за адекватними математичними моделями об'єктів дослідження, які враховують внутрішні матеріальні та інформаційні потоки. Це дозволяє здійснити аналізування моделей і на основі отриманої інформації виконувати оптимальне короткострокове управління та прогнозування. Класичні методи прогнозування зазвичай використовують лінійні та стаціонарні часові ряди, але статистичні ряди електроспоживання, як правило, такими не являються. Тому потрібно шукати розв'язок задачі прогнозування в іншому напрямку. В цьому випадку ефективно використовувати алгебраїчні, детерміновані, а не статистичні методи прогнозування, особливо для малих нестационарних часових рядів [7]. Сингулярний спектральний аналіз (SSA) є одним з найбільш ефективних методів для аналізу часових рядів. Методи «Гусениця»-SSA почали розвиватись незалежно один від одного в Росії, Великобританії та США [8]. SSA став використовуватись як метод для аналізування трендів, циклічності та інших складових часових рядів [9]. В статті запропоновано застосування методу «Гусениця»-SSA для прогнозування споживання електроенергії. Таким чином, аналіз публікацій дозволяє зробити висновок, що в теперішній час відбувається відхід від використання статистичних методів прогнозування нестационарних часових рядів за допомогою методів декомпозиції. Перевагою метода «Гусениця»-SSA являється відсутність вимоги апріорного задавання моделі ряду, а також можливість виділення гармонічних складових з змінними амплітудами та частотами, що вигідно відрізняє його від методів, в основі якого лежить метод Фур'є.

Аналіз досліджень електричних споживань показує як правильно вибирати параметри моделі для прогнозування при різних видах прогнозу (достроковий, середньостроковий, короткостроковий).

Прогнозування електроспоживання ідеальним рішенням є застосування часових рядів математичних моделей, заснованих на використанні апарата SSA, що включає в себе розвинену методологію структурного моделювання й методів навчання, основаних на добре розвинутій теорії сингулярного спектрального аналізу [15].

Прогнозування обсягів електроенергії (наванта-

ження, споживання), яке необхідне для вирішення завдань планування та оперативного управління режимами функціонування підприємств, проводиться в наступних часових діапазонах: оперативне (доба); короткострокове (доба-тиждень-місяць); довгострокове (місяць-квартал-рік).

Розроблено велику кількість методів і моделей прогнозування навантаження. Традиційні статистичні моделі можуть бути умовно розділені на регресивні моделі і моделі на основі часових рядів.

Особливий інтерес представляє використання SSA (сингулярного спектрального аналізу) в якості моделі виконує прогноз. Перевага SSA перед традиційними моделями зумовлена тим, що не потрібно будувати модель об'єкта, не губиться працездатність при неповній вхідній інформації, у SSA висока стійкість до перешкод і швидкодія. Дані прогнозів за різні періоди зберігаються в базі даних. Важливим етапом синтезу SSA прогнозування є вибір, формування і нормування вектора вхідних даних [11], [12].

Мета та задачі дослідження. Метою проведеного дослідження є підвищення ефективності режиму роботи енергосистеми за рахунок прогнозування споживання електричної енергії споживачами шляхом використання методу «Гусениця»-SSA для зниження похибки прогнозування електричної енергії на об'єктах енергоринку.

III. МЕТА РОБОТИ

Основною метою проведеного дослідження є підвищення ефективності режиму роботи енергосистеми за рахунок прогнозування споживання електричної енергії споживачами шляхом використання методу «Гусениця»-SSA для зниження похибки прогнозування електричної енергії на об'єктах енергоринку.

IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ І АНАЛІЗ ОТРИМАННИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Метод «Гусениця»SSA базується на динамічній модифікації метода головних компонент і який не потребує стаціонарності часового ряду [13, 14]. Побудуємо математичну модель часового ряду електроспоживання промислових об'єктів енергоринку. Для цього використаємо вихідний ряд електричного споживання який представлений в табл.1. Вибрано 174 значення часового ряду електроспоживання $W(t), t \in [1, N]$, де N - рівностоящі значення електричних споживань функцій $f(t)$

$$x_t = f((i-1)\Delta t),$$

де $i = 1, 2, \dots, 174$ - кількість спостережень електричного проживання, t - час за який було проведено спостереження, Δ - деякий часовий інтервал за яким проводилося спостереження, N - довжина часового ряду електричного спостереження, $N = 1, n, L$ - довжина

вікна використаного для аналізу часового ряду електричного споживання $L = 1, n$.

Таблиця 1. Вихідний ряд електричного споживання

Кількість спостережень	1	2	...	173	174
Дні	01.01.11	02.01.11	...	22.06.11	23.06.11
Електроспоживання, кВт*год	6956567	7005432		5696426	5750054

Алгоритм методу «Гусениця»-SSA складається з чотирьох етапів [16]:

Крок 1. *Вложення*. Данна процедура переводить часовий ряд електричних споживань в послідовність багатомірних векторів.

Процедура вложення утворюється за формулою 1, $K = N - L + 1$ - векторів вложення, які мають розмірність L :

$$X_i = (f_{i-1}, \dots, f_{i+L-2})^T, 1 \leq i \leq K, \quad (1)$$

В результаті обчислення даного кроку отримаємо L - траєкторну матрицю вихідного ряду електричного споживання F .

Крок 2. *Сингулярне розкладання*. Матриця X може бути записано за формулою 2:

$$X = X_1 + X_2 + \dots + X_d, \quad (2)$$

$$X_i = \sqrt{\lambda_i} U_i V_i^T; U_1 \dots U_L. \quad (3)$$

Кожен з ортонормальних систем власних векторів матриці яка визначається за формулою 3; $S(S = X \cdot X^T); \lambda_1 \dots \lambda_L$ - власні числа матриці S ; $d = \max \{i, \lambda_i > 0\}$

В стандартній термінології $\sqrt{\lambda_i}$ називаються сингулярними числами, U_i і V_i - лівими та правими сингулярними векторами матриці X відповідно. Кожна з матриць X_i має ранг 1. Тому їх можна називати елементарними матрицями. Набір $\sqrt{\lambda_i}, U_i, V_i$ ми будемо називати власною трійкою сингулярних розкладань.

Крок 3. *Відбір головних компонент*. Розкладання може бути записано за формулою 4 в наступному

згрупованому вигляді:

$$X = X_{I_1} + X_{I_2} + \dots + X_{I_m} \quad (4)$$

де m підмножини множин $I_1 \dots I_m$.

Результатом цього кроку являються наступна згрупована множина яка формується за формулою 5:

$$\begin{aligned} I_1 &= X_1 + X_2 + X_3 + X_5 \\ I_2 &= X_4 + X_6 + X_8 \\ I_3 &= X_7 + X_9 + X_{10} \end{aligned} \quad (5)$$

Крок 4. *Діагональне усереднення*. На останньому кроці базового алгоритму кожна матриця згрупованого розкладання формується новий ряд довжини N за формулою 6:

$$g_k = \begin{cases} \frac{1}{k+1} \sum_{m=1}^{k+1} y_{m,k-m+2}^*, & 0 \leq k < L^* - 1 \\ \frac{1}{L} \sum_{m=1}^{L^*} y_{m,k-m+2}^*, & L^* - 1 \leq k < K^* \\ \frac{1}{N-1} \sum_{m=k-K+2}^{N-K+1} y_{m,k-m+2}^*, & K^* \leq k < N \end{cases} \quad (6)$$

Задачею дослідження є оцінка за рахунок використання методу «Гусениця»-SSA, похибки прогнозу електроспоживання об'єкту енергоринок x_1, x_2, \dots, x_n .

Величина похибки прогнозування часового ряду електроспоживання промислових об'єктів від довжини вікна та кількості значень використовуваних для реконструкції часового ряду спожитої електричної енергії наведено в табл. 2, 3, 4.

Таблиця 2. Результати розрахунків величини похибки часового ряду електроспоживання на добу наперед

Метод прогнозування	Параметри моделі	Фактичне та прогнозне значення	Похибка прогнозування
Метод «Гусениця»-SSA	0 0	5740629	0
	21 127	5750569	0,17
	31 37	5797921	0,027
	36 77	5743640	0,05
	46 127	5744545	0,068
	161 162	5739020	0,028

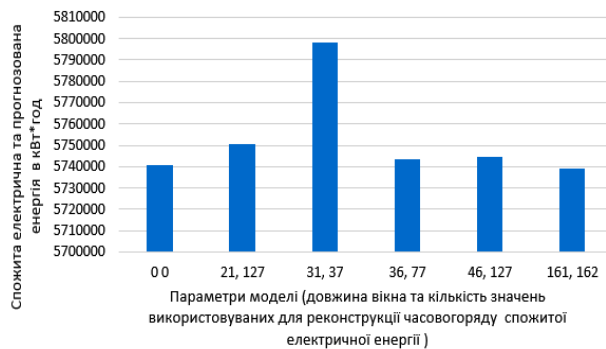


Рисунок 1. Залежність параметрів моделі від фактичних та прогнозних значень (на добу наперед)



Рисунок 2. Залежність параметрів моделі від похибки MAPE (відповідно до прогнозних на добу наперед)

Таблиця 3. Результати розрахунків величини похибки часового ряду електроспоживання на тиждень наперед

Метод прогнозування	Параметри моделі	Фактичне та прогнозне значення	Похибка прогнозування
Метод «Гусениця»-SSA	0 0	38142531	0
	11 47	37511734	3,17
	11 62	37084686	3,066
	16 127	38383294	2,89
	16 132	39000853	2,8
	26 132	38121826	2,94



Рисунок 3. Залежність параметрів моделі від фактичних та прогнозних значень (на тиждень наперед)



Рисунок 4. Залежність параметрів моделі від похибки MAPE (відповідно до прогнозу на тиждень наперед)

Таблиця 4. Результати розрахунків величини похибки часового ряду електроспоживання на місяць наперед

Метод прогнозування	Параметри моделі	Фактичне та прогнозне значення	Похибка прогнозування
Метод «Гусениця»-SSA	0 0	218558759,4	0
	1 2	213152543,2	1,94
	1 7	211127271,4	2,79
	1 12	207352132,7	4,43
	1 172	208325282,1	3,82
	6 27	210129537,2	3,99

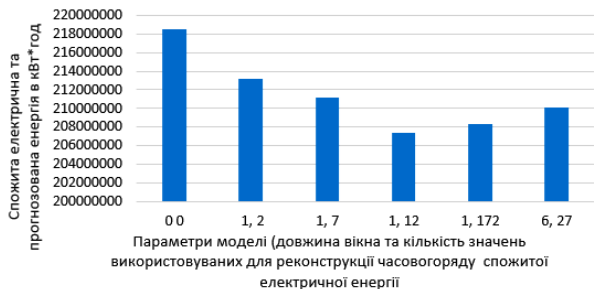


Рисунок 5. Залежність параметрів моделі від фактичних та прогнозних значень (на місяць наперед)

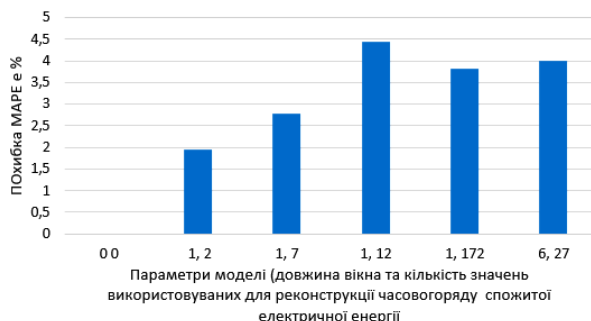


Рисунок 6. Залежність параметрів від похибки MAPE (відповідно до прогнозу на місяць наперед)

На рисунках 1, 3 та 5 показано залежності параметрів моделі з прогнозними та фактичними значен-

нями електроспоживання. З рисунків видно яким чином краще вибирати параметри моделі відповідно до довжини прогнозованого значення (доба, тиждень, місяць). На рисунках 2, 4 та 6 показано величини похибок MAPE від параметрів моделі. Модель краще вибирати в відповідності до величини похибки та довжини часового ряду який потрібно прогнозувати. Промисловий об'єкт як правило замовляє величину електроенергії, але з врахуванням умов які сформовані правилами куплі-продажу електроенергії. З економічної точки зору необхідно, щоб величина відхилень замовлень електричної енергії від фактичної спожитої електричної енергії була мінімальною.

Результати прогнозування та графіка точності прогнозування за різними моделями SSA наведено на рисунку 2.

Метод «Гусениця»-SSA дозволяє дослідити структуру часового ряду електроспоживання, виділити окремі його складові та прогнозувати як сам ряд, так і тенденції розвитку його складових.

Особливістю метода являється такі його властивості як інтерактивність та візуалізація результату обчислення.

Недоліком метода, обмежуючим можливості його використання, являється припущення про лінійність моделі досліджуваного часового ряду електроспоживання.

Використання метода дозволить знизити похибку результатів прогнозування.

Метод не передбачає знання порядку параметричної моделі ряду та працює з зашумленим нестационарним часовим рядом.

V. ВИСНОВКИ

Прогнозування електроспоживання значною ступінню залежить від добового та сезонного електроспоживання. В енергооб'єднаннях де спостерігається висока нерівномірність графіків споживання електроенергії і при цьому спостерігається суттєве відхилення споживання від сезонного тренду, похибки прогнозування не є значним. Під час організації ринкових операцій по куплі-продажу електроенергії і потужності енергооб'єднань з високою нерівномірністю графіків електричного споживання похибка прогнозування буде високою, і вони в більшій степені будуть піддаватися штрафним санкціям за перевищення або заниження величин споживання. Взаємозв'язок між нерівномірністю та похибкою прогнозів дозволяє використовувати лінійні рівняння регресії. Найбільш кращі результати прогнозування електроспоживання отримані у разі використання спеціально розроблених моделей прогнозування з врахуванням метеофакторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Макоклюев Б. И. Прогнозирование потребления электроэнергии АО Мосэнерго / Б.И. Макоклюев,

- А.И. Владимиров // Журнал ТЭК №4. – Москва – 2001.
- [2] Соломкин А.В. Краткосрочное прогнозирование потребления электроэнергии с помощью нейросетевых методов / А.В. Соломкин // ГОУВПО Мордовский государственный университет им Н.П. Огарева. – Саранск: 2012.
- [3] Обработка многомерных временных рядов с помощью метода «Гусеница». Главные компоненты временных рядов метод «Гусеница» / под. ред. Н.Э. Голядина, Д.Л. Данилова, А.А. Жиглявского: Санкт-Петербург: 1997. – С.105-131.
- [4] Цветков Е.И. Нестационарные случайные процессы и их анализ / И.Е. Цветков. – М: Энергия, 1973. – 128 с.
- [5] «Про затвердження Методики визначення обсягу та вартості електричної енергії, не облікованої внаслідок порушення споживачами правил користування електричною енергією» Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України від 4 травня 2006 року N 562
- [6] Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования / Е.М. Четыркин – М: Статистика, 1977. – 263 с.
- [7] Бэнн Д.В. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки / Д.В. Бэнн, Е.Д. Фармер; пер. с англ. – М: Энергоатомиздат, 1987. – 200с.
- [8] Broomhead D.S. Extracting qualitative dynamics from experimental data / D.S. Broomhead, G.P. King; Physica D. – 1986. – Vol. 20, Issue 2-3. – P. 217-236.
- [9] Fraedrich K. Estimating the dimension of weather and climate attractor / K. Fraedrich; J. Atmos Sci. – 1986. Vol. 43. – P. 419-432.
- [10] Vautard R. Singular spectrum analysis in nonlinear dynamics, with applications to paleoclimatic time series / R Vautard, M. Ghil; Physica D. – 1989. – Vol. 35, Issue 3. – P. 395-424.
- [11] Ghil M. Interdecadal oscillations and the warming trend in global temperature time series / M. Ghil, R. Vautard // Nature. – 1991. – Vol. 350, Issue 6316. – P.324-327.
- [12] Щелкалин В.Н. Трендовый подход прогнозирования временных рядов на основе метода «Гусеница»-SSA / В.Н. Щелкалин // Материалы 14-й Международной научно-технической конференции SAIT 2012, Киев, 24 апреля 2012г. / УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ». – К.: УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2012. – С. 258 – 259.
- [13] Щелкалин В.Н. Декомпозиционный подход прогнозирования временных рядов на основе метода «Гусеница»-SSA / В.Н. Щелкалин // Материалы 14-й Международной научно-технической конференции SAIT 2012, Киев, 24 апреля 2012г. / УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ». – К.: УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2012. – С. 260 – 261.
- [14] Голядина. Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: прогноз временных рядов: уч. пос. / Н.Э. Голядина. – СПб: 2003. – 55 с.
- [15] Солнцев В.Н. Главные Компоненты Временных Рядов: Метод “Гусеница”/ В. Н.Солнцев, Д. Л. Данилов, А. А. Жиглявский. // С.-Петербургский государственный университет, 1997.
- [16]Александров Ф. И. Выделение аддитивных компонент временного ряда на основе метода "Гусеница" / Ф. И. Александров // С.-Петербургский госудаственнй университет, 2003.

Стаття надійшла до редакції 04.02.2020

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГОРЫНКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА «ГУСЕНИЦА» -SSA

РОЗЕН В.П.

д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации управления электротехническими комплексами Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорського, Киев, Украина e-mail: demchyk14@dmil.com;

ДЕМЧИК Я.М.

аспирант, кафедры автоматизации управления электротехническими комплексами Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорського, Киев, Украина e-mail: demchyk14@dmil.com;

Цель работы. Основной целью проведенного исследования является повышение эффективности режима работы энергосистемы за счет прогнозирования потребления электрической энергии потребителями путем использования метода «Гусеница» -SSA для снижения погрешности прогнозирования электрической энергии на объектах энергорынка.

Методы исследования. Исследуется использование метода "Гусеница" -SSA прогнозирования потребления электрической энергии промышленного объекта энергорынка.

Полученные результаты. В данной статье исследуется использование метода "Гусеница" -SSA прогно-

зирования потребления электрической энергии промышленного объекта энергорынка. Основой проведенного исследования является повышение эффективности режима работы энергосистемы за счет прогнозирования потребления электрической энергии потребителями, поставщиками и производителями. Использование современных способов сбора статистической информации позволяет принимать правильные решения в планировании и управлении энергообъектами. В статье представлен метод сингулярного спектрального анализа, который позволяет использование статистических данных нестационарного ряда. Использование метода сингулярного спектрального анализа-SSA позволяет получить погрешность прогнозирования электрической энергии на объектах энергорынка в пределах допустимого. Полученное прогнозируемое электрическое потребление за некоторый период позволит управлять электроэнергетической системой за помощью устройств сбора данных. Устройства сбора данных в автоматическом режиме будут передавать статистическую информацию, а программное обеспечение корректировать прогнозные значения электрической энергии при заказе потребителем, поставщиком. Данное исследование позволяет использовать метод сингулярного спектрального анализа в простом прогнозировании на неделю, сутки, час в перед при использовании статистических инструментов. Результаты могут использоваться в электроэнергетике при предыдущем прогнозировании потребления электроэнергии и планировании объемов производства электрической энергии и цены на нее. Предложенный метод показывает как правильно использовать сингулярный спектральный анализ в прогнозировании электрической энергии.

Научна новизна. Исследования в области прогнозирования електроспоживання позволят снизить похику прогнозирования не применяя методов анализа на стационарность временных рядов электропотребления.

Практическая ценность. Позволит заказывать электрическую энергию у поставщиков с меньшей погрешностью это увеличит экономию средств потребителей.

Ключевые слова. электропотребления; промышленный объект энергорынка; «Гусеница» -SSA»; прогнозирование; сингулярный анализ.

SHORT-TERM FORECASTING OF ELECTRICITY CONSUMPTION AT THE OBJECTS OF THE ENERGY MARKET WITH THE USE OF THE "GUSENITSA" -SSA METHOD

ROZEN V.P.

Dr. Tech. Sci., Professor, Head of the Department for Automation Management of Electrotechnical Complexes of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky, Kiev, Ukraine e-mail: demchyl4@gmail.com;

DEMCHYK
Y.A.M.

Assistant, the Department for Automation Management of Electrotechnical Complexes of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky, Kiev, Ukraine e-mail: demchyl4@gmail.com.

Purpose. The main goal of the study is to increase the efficiency of the operating mode of the power system by predicting the consumption of electric energy by consumers using the "Gusenitsa" -SSA method to reduce the error in predicting the electrical energy at the energy market facilities.

Methodology. The use of the method "Gusenitsa" -SSA for forecasting the consumption of electric energy of an industrial facility of the energy market is investigated.

Findings. This article explores the use of the Gusenitsa -SSA method for forecasting the electricity consumption of an industrial facility in an energy market. The basis of this study is to improve the efficiency of the power grid mode by forecasting electricity consumption by consumers, contractors and producers. Using modern methods of gathering statistical information allows you to make the right decisions in the planning and management of energy objects. The article presents the method of singular spectral analysis that allows the use of statistics of a non-stationary series. The use of the method of singular spectral analysis-SSA allows to obtain the forecasting error of electric energy on the objects of the energy market within the acceptable range. The obtained forecast electric consumption for some period will allow to control the electric power system by means of data collection devices. Data collection devices in automatic mode will transmit statistical information, and the software will adjust the predicted values of electricity ordered by the consumer, the supplier. This study allows us to use the method of singular spectral analysis in simple forecasting for the week, day, and hour before using statistical instruments. The results can be used in electricity for the preliminary forecasting of electricity consumption and the planning of electricity production and prices. The proposed method shows how to use the singular spectral in the prediction of electrical energy.

Originality. Research in the field of power consumption forecasting will reduce the forecasting error without using methods of analysis for the stationarity of power consumption time series

Practical value. It will allow you to order electric power from suppliers with a lower margin, this will increase the economy of consumers' funds.

Keywords. power consumption; an industrial facility of the energy market; "Gusenitsa -SSA" method; forecasting; singular analysis.

REFERENCES

- [1] Makoklyuev, B.I., Vladimirov, A.I., (2001). Prediction of Power Consumption of Mosenergo JSC. *Journal of Fuel and Energy Complex*, No 4, Moscow.
- [2] Solomkin, A.V., (2012). Short-term forecasting of electricity consumption using neural network methods. State University of NPP Mordovian State University Ogareva, Saransk.
- [3] Golyadina, N.E., Danilova, D.L., Zhiglyavsky, A.A., (1997). Processing of multidimensional time series using the Caterpillar method. The main components of the time series are the Caterpillar method. ed., St. Petersburg, 105-131.
- [4] Tsvetkov, E.I., (1973). Non-stationary random processes and their analysis. Moscow, Energy, 128 p.
- [5] On Approval of the Methodology for Determining the Volume and Cost of Electricity Not Taken Due to Violation of Consumers' Rules of Electricity Utilization
- [6] Chetyrkin, E.M., (1977). Statistical methods of forecasting. Moscow, Statistics, 263
- [7] Bann, D.V., Farmer, E.D., (1987). Comparative models of electric load prediction. Moscow, Energoatomizdat, 200.
- [8] Broomhead, D.S., King, G.P., (1986). Extracting qualitative dynamics from experimental data. No 20, 2-3, 217-236.
- [9] Fraedrich, K. Atmos, J., (1986). Estimating the dimension of weather and climate attraction. No. 43, 419-432.
- [10] Vautard, R., Ghil, M., (1989). Singular spectrum analysis in nonlinear dynamics, with applications to paleoclimatic time series. No. 35, 3, 395-424.
- [11] Ghil, M., Vautard, R., (1991). Interdecadal oscillations and the warming trend in global temperature time series. *Nature*, No. 350, 6316, 324-327.
- [12] Schelkalin, V.N., (2012). Trend approach of time series prediction based on Goose-Nice method -SSA / VN. Schelkalin // Proceedings of the 14th SAIT 2012 International Scientific and Technical Conference, Kiev, April 24, 2012. / IPSA UNC NTUU "KPI". - K: IPSA UNC NTUU "KPI", 258 - 259.
- [13] Shchekalin, V.N., (2012). A decomposition approach of time-series prediction based on the Track-SSA method / VN. Schelkalin // Proceedings of the 14th SAIT 2012 International Scientific and Technical Conference, Kiev, April 24, IPSA UNC NTUU "KPI". - K.: UNESCO "IPSA" NTUU "KPI", 260 - 261.
- [14] Feast, N.E. (2003). The caterpillar method -SSA: time series forecast: uch. pos. St. Petersburg, 55 p.
- [15] Solntsev, V.N., Danilov, D. L., Zhiglyavsky, A. A. (1997). The Main Components of the Time Series: The Caterpillar Method. St. Petersburg State University.
- [16] Aleksandrov, F.I., (2003). Isolation of additive components of the time series based on the Gusenitsa method. St. Petersburg State University.